

MODIFIED FUZZY GAIN SCHEDULING SPEED CONTROLLER FOR BLDC
WITH SEAMLESS SPEED REVERSAL USING DIRECT COMMUTATION
SWITCHING SCHEME

SATISHRAO POTHORAJOO

Thesis submitted in fulfilment of the requirements
for the award of the degree of
Master of Science

Faculty of Electrical & Electronics Engineering
UNIVERSITI MALAYSIA PAHANG

MARCH 2018

ABSTRAK

Sejak beberapa dekad ini Motor Arus Terus Tanpa Berus (BLDC) telah mendapat populariti dalam pelbagai sektor seperti pengangkutan, robotik, dan automasi. Populariti ini disebabkan oleh kecekapan yang tinggi, kos penyelenggaraan yang rendah dan ketumpatan kuasa yang tinggi oleh motor BLDC. Aplikasi motor BLDC dalam automasi, aeroangkasa dan automasi industri memerlukan motor untuk dikendalikan dwi-arah. Walaupun pelbagai pengawal kelajuan BLDC telah dibangunkan, namun kebanyakan penyelesaian hanya memfokuskan pada pemanduan ke hadapan sahaja dan bukan dwi-arah. Pengawal kelajuan BLDC 4-kuadran yang pertama telah dibangunkan oleh S.Joice untuk menangani isu ini, walaubagaimanapun tidak jelas sama ada pengawal dapat mencapai operasi dwi-arah kerana kekurangan bukti dalam penerbitan. Untuk menilai keupayaan pengawal dwi-arah ini, kajian ini menguji pengawal ini dalam simulasi *MATLAB Simulink*. Didapati bahawa pengawal ini, tidak mampu mencapai kelajuan rujukan ketika operasi kuadran ketiga dan mempunyai 67.5 % perbezaan kelajuan semasa operasi perubahan kuadran. Untuk mengatasi kekurangan ini, kajian ini mencadangkan satu skim komutasi BLDC yang baharu, yang dipanggil skim komutasi secara menerus (DCS). Pengawal kelajuan PID digabungkan dengan skim DCS diuji melalui dua kes ujian. Dari kes ujian, dapat disimpulkan bahawa skim DCS dapat memandu motor BLDC secara dwi-arah. Analisis lanjut mendapati bahawa PID menunjukkan prestasi yang tidak memuaskan ketika keadaan beban tidak tetap. Ini adalah masalah klasik yang menyebabkan banyak teknik telah dibangunkan untuk mengatasinya, termasuklah Logik Kabur dan Rangkaian Neural Buatan. Teknik pengoptimuman menggunakan Logik Kabur adalah begitu popular kerana mudah berbanding pengawal kelajuan pintar yang lain. Kajian ini cuba untuk membangunkan pengawal BLDC baru dengan Logik Kabur, maka pengawal kelajuan Pengjadualan Logik Kabur yang diubahsuai (*M.F.G.S*) menggunakan skim DCS telah dicadangkan. Pengawal yang dicadangkan dibandingkan dengan pengawal PID dan Swa-penelaan Logik Kabur (*S.T.Fuzzy*) di bawah enam kes ujian. Pengawal yang dicadangkan telah terbukti mempunyai masa pemulihan yang paling pendek ketika perubahan daripada tanpa beban hingga 5 Nm. Pengawal ini dapat dapat pengikut perubahan kelajuan ketika perubahan kelajuan mendadak dengan mencapai steady state error terendah. Keupayaan pengawal motor BLDC untuk beroperasi dalam empat kuadran adalah satu keperluan namun kekurangan pembangunan dalam bahagian ini. Supaya motor BLDC dapat transit antara kuadran dengan lancar, keperluan untuk menentukan kedudukan motor yang ideal untuk pembalikan motor untuk mengelakkan tersekat adalah penting. Untuk menilai kebolehan pengawal yang dicadangkan, *M.F.G.S* menggunakan skim DCS telah dinilai bersama *PID* dan *S.T.Fuzzy* dibawah empat kes perubahan kuadran. Pengawal yang bangunkan mempunyai *overshoot* berkurang dan *steady state error* terkecil pada 0.015 % ketika perubahan daripada kuadran pertama ke kuadran kedua dalam keadaan berbeban. Secara keseluruhannya, *M.F.G.S* menggunakan skim DCS telah mengatasi prestasi dua pengawal kelajuan lain dalam kajian ini. Pengawal laju ini mempunyai pontensi untuk digunakan sebagai pemacu dwi-arah ketika beban yang bersifat dinamik.

ABSTRACT

Over the past decade the Brushless Direct Current (BLDC) motors have gained popularity in multiple sectors such as transportation, robotics, and automation. This is due to its high efficiency, low maintenance and high-power density. BLDC motor applications in automation, aerospace and industrial automation requires the motor to be operated bidirectionally. Although many BLDC drive controllers have been developed, most solutions are focusing only on forward motoring instead of bidirectional. A 4-quadrant BLDC controller was developed by S.Joice was the first to address this issue, although it is unclear whether the controller able to achieve bidirectional operations due to lack of evidence in the literature. To assess this bidirectional capability of S.Joice controller, a test platform was developed in MATLAB Simulink simulation. It is found that the controller is incapable of achieving reference speed in third quadrant and has 67.5 % of speed error during quadrant transient operations. To overcome this limitation, this study proposes a new BLDC commutation scheme, called direct commutation switching (DCS) scheme. A PID speed controller coupled with DCS scheme is tested for two test cases. From the test cases, it can be concluded that DCS scheme is able to drive the BLDC motor bidirectionally. Further analysis points out that the PID exhibits the typical unsatisfying performance under nonlinear load conditions. This is a classic problem that have lead many different types techniques to be developed, including Fuzzy Logic and Artificial Neural Network (ANN). Among others, fuzzy logic optimization technique is preferable due to simplicity compared other intelligent speed controller. This study attempts to develop a new BLDC controller by modifying fuzzy gain, hence proposes M.F.G.S speed controller. This proposed controller's step responses are compared to PID and S.T.Fuzzy speed controllers under six test cases. The proposed controller has the shortest recovery time during load changes from no load to 5 Nm load. It is also able to adapt with sudden speed changes by achieving lowest steady state error. As for quick reversal operation, BLDC motor requires transient capabilities between quadrants. It is necessary to determine the instance when the rotor is ideally positioned for reversal to prevent standstill position. In order to examine the quadrant transient capabilities, M.F.G.S speed controller together with PID and S.T.Fuzzy speed controllers were evaluated under four cases of quadrant transient. From the study, the M.F.G.S controller had the lowest overshoot and steady state error of 0.015 % while transiting from first quadrant to second quadrant under loaded conditions. Overall, M.F.G.S Speed Controller for BLDC outperforms the other two controllers in this study. Hence, the M.F.G.S controller has potential to be used as bidirectional drive in highly dynamic load conditions.